绿色催化技术助推炼化工业高效转型研究

张元松, 李维功, 张世磊

(无棣鑫岳化工集团有限公司, 山东 滨州 251900)

摘要 绿色催化技术对炼化工业的可持续发展具有重要作用。绿色催化技术应用于炼化工业的原料转化、烯烃芳烃生产、催化裂化加氢、CO₂ 转化及脱硫脱氮、催化剂回收等过程, 其作用在于提升能源利用效率、减少有害排放和环境污染、促进资源循环利用。通过加强催化剂研发创新、优化反应工艺与设备设计、推进产业化应用等策略, 可实现炼化工业高效转型。本文分析了绿色催化技术在炼化工业中的应用、作用与实施策略, 旨在为推动炼化工业实现高效转型及可持续发展提供参考。

关键词 绿色催化技术; 炼化工业; 高效转型

中图分类号: TQ0

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.022

0 引言

随着全球环境保护与可持续发展问题的日益突出, 炼化行业作为重要能源和基础化工原料, 面临着转型的巨大压力。传统炼化过程能耗高, 污染物排放量大, 难以满足日趋严格的环境标准和能源高效利用需求。在这一背景下, 绿色催化技术应运而生, 以其特有的优势, 成为推动炼化产业发展瓶颈的重要手段。绿色催化技术在提高原料转化率的同时, 还可以减少有害物质的排放, 是我国炼化工业绿色转型的一条可行途径。

1 绿色催化技术在炼化工业中的应用

1.1 原料转化与精炼过程中的应用

在原料转化与精炼过程中, 绿色催化技术发挥着至关重要的作用。传统的原料转化方法往往需要高温高压等严格条件, 不仅能耗巨大, 还会产生大量副产物。而绿色催化技术采用新型催化剂, 能够在相对温和的条件下实现高效转化。例如: 在原油精炼时, 使用特定的固体酸催化剂, 可精准地促进原油中各类烃类物质的转化, 将重质原油转化为更具经济价值的轻质油品。这种绿色催化方式大幅降低了能源消耗, 减少了对环境不友好的化学添加剂使用, 同时提高了目标产品的选择性, 使精炼过程更加高效、环保, 有效提升了原料的利用率, 为后续的炼化生产奠定良好的基础。

1.2 烯烃与芳烃的绿色生产

烯烃与芳烃作为重要的化工原料, 其生产过程一直备受关注。绿色催化技术为烯烃与芳烃的绿色生产开辟了新途径。以乙烯生产为例, 传统的蒸汽裂解工

艺能耗高且产生大量温室气体。而新兴的绿色催化技术, 如采用分子筛催化剂的催化裂解工艺, 能够在较低温度下将低碳烷烃高效转化为乙烯等烯烃产品^[1]。对于芳烃生产, 通过使用具有特殊孔道结构的催化剂, 可实现选择性地原料转化为对二甲苯等关键芳烃, 减少了不必要的副反应。这种绿色生产方式不仅降低了能源消耗, 还显著减少了生产过程中的污染物排放, 使得烯烃与芳烃的生产更加符合可持续发展的要求, 有力推动了相关化工产业的绿色升级。

1.3 催化裂化与加氢过程的绿色改进

催化裂化与加氢是炼化工业中的核心过程, 绿色催化技术为其带来了显著改进。在催化裂化方面, 新型催化剂的研发使得裂化反应能够在更优的条件下进行。例如: 采用含有稀土元素的催化剂, 能够增强催化剂的活性与稳定性, 促进重质油分子的裂解, 提高轻质油的收率, 同时降低焦炭的生成量, 减少了对设备的污染与维护成本。在加氢过程中, 绿色催化技术通过优化催化剂的组成与结构, 提升了加氢反应的效率与选择性。如使用负载型金属催化剂, 能够精准地对油品中的不饱和键进行加氢饱和, 去除杂质, 提高油品质量, 且在整个过程中减少了氢气的消耗, 降低了生产成本, 实现了催化裂化与加氢过程的绿色、高效运行。

1.4 CO₂ 转化与脱硫脱氮技术

面对日益严峻的环境挑战, CO₂ 转化与脱硫脱氮技术成为炼化工业绿色发展的关键环节。绿色催化技术在 CO₂ 转化方面取得了积极进展, 通过设计高效的催化

剂，能够将炼化过程中产生的 CO_2 转化为有价值的化学品，如甲醇、甲酸等。例如：利用金属有机框架（MOF）材料为基础的催化剂，在特定反应条件下，可实现 CO_2 的高效活化与转化，既减少了温室气体排放，又创造了经济效益。在脱硫脱氮方面，绿色催化技术采用新型的吸附—催化一体化材料，能够在较低温度下对油品中的硫、氮化合物进行深度脱除。如使用负载型过渡金属催化剂，可将含硫、含氮杂质转化为无害物质，有效降低了油品燃烧时对大气的污染，提升了炼化产品的环保性能。

1.5 催化剂的回收与再利用技术

催化剂的回收与再利用技术是绿色催化体系的重要组成部分。在炼化工业中，催化剂成本较高且部分催化剂含有稀有金属元素。传统的催化剂使用后往往被废弃，造成资源浪费与环境污染。绿色催化技术注重催化剂的回收与再利用，通过一系列物理与化学方法，能够将失活的催化剂进行再生处理^[2]。例如：对于负载型催化剂，采用酸洗、焙烧等手段去除催化剂表面的积碳与杂质，恢复其活性中心，使其能够重新投入使用。对于一些含有贵金属的催化剂，通过先进的分离技术，可将贵金属回收再利用，大大降低了生产成本。这种技术不仅提高了资源利用率，减少了对新催化剂的需求，还降低了因废弃催化剂带来的环境风险，推动了炼化工业向资源节约型与环境友好型方向发展。

2 绿色催化技术推动炼化工业高效转型的作用

2.1 提升能源利用效率

在炼化工业中，能源利用效率的提升是实现高效转型的关键。绿色催化技术凭借创新的催化剂体系，打破了传统工艺的能耗瓶颈。以原油精炼流程为例，传统工艺依赖高温高压环境促使重质原油转化为轻质油品，这一过程耗费大量能源。而新型固体酸催化剂的引入，极大地降低了反应所需的活化能，使得反应能够在相对温和的条件下高效进行。据实际生产数据显示，采用绿色催化技术后，重油转化轻质油的反应温度可降低数十摄氏度，能源消耗相应减少约 20% ~ 30%。在烯烃生产领域，分子筛催化剂的催化裂解工艺，相较于传统高能耗的蒸汽裂解工艺，不仅大幅减少了能源投入，还显著提高了烯烃的产率。在催化裂化过程中，含稀土元素的催化剂通过增强活性与选择性，精准引导能量作用于重质油分子的裂解，避免了无效的能量损耗。加氢环节，负载型金属催化剂优化了加氢反应路

径，在提升反应效率的同时，减少了氢气这一重要能源载体的消耗。通过在各个关键环节的技术革新，绿色催化技术让炼化工业在消耗更少能源的前提下，产出更多高品质产品，有力推动了行业的高效节能发展。

2.2 减少有害排放与环境污染

绿色催化技术是降低炼化行业有害气体排放和环境污染的有效手段。金属—有机骨架（MOFs）材料作为一种新型的催化材料，对解决全球关注的 CO 减排问题具有重要意义。该催化剂可将 CO 转化成甲醇、甲酸等高附加值化学品，不仅可有效固定温室气体，还可产生新的工业原料，降低碳排放强度。在石油净化领域，新型吸附—催化一体化材料和负载型过渡金属催化剂具有较强的脱硫和脱硝性能^[3]。它能在较低的温度下深度脱除油品中的硫和氮，大幅度减少油品燃烧过程中产生的有害气体如二氧化硫、氮氧化物等，实现对大气污染的源头控制。传统的炼油工艺因其高温、高压的操作和大量的化学添加剂的使用，产生了大量的废水、废气和废渣。而“绿色催化”技术则摒弃或少用强酸强碱等环境友好型添加剂，实现源头减排。比如在原料精制阶段，通过减少使用强酸强碱，大大降低废水处理难度与成本，从而降低污染风险。

2.3 促进资源的循环利用

绿色催化技术为炼化工业资源循环利用开辟了新路径。其中，催化剂回收与再利用技术占据关键地位。炼化工业所使用的催化剂往往成本高昂，部分还含有稀有金属。在传统模式下，废弃催化剂不仅造成了巨大的资源浪费，还可能带来环境污染风险。绿色催化技术通过一系列先进的物理化学方法，实现了失活催化剂的再生。对于负载型催化剂，采用酸洗、焙烧等手段，可以有效去除其表面的积碳和杂质，恢复活性中心，使其能够重新投入生产应用。对于含有贵金属的催化剂，借助先进的分离技术，能够将其中的贵金属高效回收，实现资源的循环利用。在原料转化环节，绿色催化技术显著提高了原料利用率，将原本难以利用的重质原料转化为高附加值产品，减少了资源浪费^[4]。在烯烃和芳烃生产过程中，精准的催化剂控制有效减少了副反应的发生，使原料更多地转化为目标产品，进一步提升了资源利用效率。此外，将 CO_2 转化为有价值的化学品，实现了碳资源的循环利用，使炼化工业从传统的线性资源利用模式向循环经济模式转变，极大地提高了资源利用的可持续性，为行业长期稳定发展奠定了坚实的基础。

3 绿色催化技术助推炼化工业高效转型的策略

3.1 加强催化剂的研发与创新

在绿色催化技术助力炼化工业高效转型进程中，催化剂研发创新居于核心地位。随着炼化工业对产品质量与生产效率要求的不断攀升，传统催化剂性能已难以满足需求，迫切需要研发新型催化剂。一方面，高活性、高选择性且稳定性强的催化剂是研发重点。借助先进的材料科学手段，对催化剂微观结构展开精准调控。比如运用纳米技术，可制备出拥有特殊孔径与独特表面性质的催化剂。这类催化剂能够极大地降低反应活化能，使各类炼化反应在温和条件下就能高效进行。以重油轻质化这一关键环节为例，该新型催化剂可显著提升轻质油产出率，让重质原油能更充分地转化为市场急需的高价值轻质油品。另一方面，炼化原料成分复杂，常含硫、氮等杂质，传统催化剂极易受其影响而中毒失活。因此，研发具备卓越抗中毒能力的催化剂刻不容缓。科研人员通过元素掺杂、表面修饰等先进技术手段，巧妙地改变催化剂表面电子云分布与化学活性位点，增强其对杂质的耐受性，确保在复杂原料环境下仍能稳定运行。

3.2 优化反应工艺与设备设计

优化反应工艺与设备设计是绿色催化技术在炼化工业实现高效应用的关键支撑。在反应工艺优化方面，需紧密围绕绿色催化技术特性，对现有工艺流程实施深度革新。例如：充分考量新型催化剂的活性温度区间，精准调整反应温度与压力条件。在实际生产中，通过这种精准调控，可避免能源的过度消耗与无效浪费，实现能源的精细化利用。以烯烃生产为例，将催化裂解工艺与先进的热集成技术有机结合，能够巧妙回收并利用反应过程中产生的余热，进一步降低整体能源消耗。在设备设计上，提升设备传质与传热效率是核心目标^[5]。研发新型反应器，采用高效搅拌装置，促使反应物与催化剂充分接触，加速反应进程；同时设计高效传热结构，能够快速移除反应热，有效维持反应体系的温度稳定，保障反应高效、平稳进行。针对催化剂回收与再利用这一重要环节，专门开发配套设备，实现催化剂的便捷分离与高效再生处理。

3.3 推进绿色催化技术的产业化应用

推动绿色催化技术在工业上的推广应用，是促进我国石化产业向低碳方向发展的重要举措。

首先，政府可以发挥宏观指导的作用，制定切实

可行的支持政策。例如：对采用绿色催化技术的公司实行税收优惠政策，以降低其经营成本；建立研发补助基金，鼓励企业加大对绿色催化技术领域的研发投入，减轻其应用过程中所面临的经济风险，激发其积极性。

其次，加强产、学、研的合作，借鉴高校和科研院的先进研究成果，为企业提供更丰富的生产实践经验和产业化条件。双方共同设立研发中心，可以实现优势互补，共同攻克绿色催化技术产业化进程中的诸多难点问题，加快该技术由实验室研究向产业化转型的进程。

再次，创建示范项目，是技术推广的一种有效途径。在大型炼化企业配备绿色催化示范装置，以实际生产数据为基础，直观地展示绿色催化技术对提高产品品质、降低能耗和降低污染物排放量的显著效果，引起更多企业的关注和学习，起到很好的示范带动作用。

最后，完善产业链的支持体系也是必不可少的。保证绿色催化技术的原料、设备等的稳定供应，推动上下游企业的协同发展，营造良好的产业生态，全面推动绿色催化技术在炼化行业的推广应用，促进整个行业的绿色转型。

4 结束语

绿色催化技术在炼化工业原料转化、生产等多环节应用广泛，它能提升能源利用效率，减少有害排放与环境污染，促进资源循环利用，有效推动炼化工业高效转型。通过加强催化剂研发创新、优化反应工艺与设备设计、推进产业化应用等策略，为转型提供有力支撑。未来，随着技术不断进步与推广，绿色催化技术有望进一步助力炼化工业实现深度绿色变革，实现可持续发展目标，在全球能源转型中发挥关键作用。

参考文献：

- [1] 申桂英. 大连理工大学分子筛基绿色催化技术实现产业化应用[J]. 精细与专用化学品, 2021, 29(08): 34.
- [2] 张英斌, 李智森. 大型炼化企业氮气系统的优化[J]. 石油化工技术与经济, 2024, 40(06): 35-37.
- [3] 同[2].
- [4] 蔡玉田. 炼化企业节能路径探讨[J]. 石油石化绿色低碳, 2024, 09(05): 7-10.
- [5] 朱旭敏, 冯连勇. 中国炼化行业氢能利用绿色化发展前景分析[J]. 国际石油经济, 2024, 32(07): 69-75, 112.